

論文 / 著書情報
Article / Book Information

論題(和文)	幅厚比の大きな角形鋼管柱の当板補剛による補剛効果に関する基礎的研究 その1：曲げ試験
Title(English)	Fundamental Study on Effect of Reinforcement by Cover Plates for Steel Hollow Section Columns with Large Width-thickness Ratio (Part1: Bending Test)
著者(和文)	佐藤 由悟, 木下 堯之, 五十嵐 規矩夫
Authors(English)	SATO Yugo, KINOSHITA Takayuki, IKARASHI Kikuo
出典(和文)	日本建築学会大会学術講演梗概集, , , pp. 1141-1142
Citation(English)	Summaries of Technical Papers of Annual Meeting, Architectural Institute of Japan, , , pp. 1141-1142
発行日 / Pub. date	2022, 7
権利情報	一般社団法人 日本建築学会

幅厚比の大きな角形鋼管柱の当板補剛による補剛効果に関する基礎的研究
その 1：曲げ試験

角形鋼管
当板補剛

幅厚比
局部座屈

塑性変形能力
曲げ試験

正会員 ○ 佐藤 由悟*
同 木下 堯之*
同 五十嵐 規矩夫**

1. 序

幅厚比の大きな鋼部材は、早期に局部座屈が発生し、急激な耐力劣化を伴うため塑性変形能力が乏しいことが知られている。構造設計では、部材の変形性能を幅厚比種別で区分し、当該種別に応じて各階の設計安全率を検討するものと規定している¹⁾。

これに対して局部座屈が懸念される部材端部近傍に鋼板を溶接接合することによって全塑性曲げ耐力を増大させ、耐力と変形能力を向上させる方法がある。この方法は耐震改修関係の指針等²⁾においても説明されているが、最大耐力は高くなる一方で、局部座屈が補剛領域外で発生すると耐力劣化勾配は無補剛に近くなり、耐力を十分に維持するという観点での塑性変形能力は改善されない場合もあることが示唆されている^{3),4)}。

本研究では幅厚比の大きな角形鋼管柱を対象とし、柱端部近傍に当板補剛を施すことで、最大耐力・初期剛性は無補剛と同程度のまま、局部座屈後の耐力劣化を抑制することにより、上位の幅厚比種別相当の塑性変形能力を実現しうる効率的な補剛方法を明らかにすることを目的とする。

このような補剛方法は補剛材のサイズや強度、溶接方法に応じて多くの因子が相互に影響を及ぼしあうことが予想される。そこで本論文では補剛材の板厚と補剛長さに着目した実大 3 点曲げ試験と有限要素法解析を実施し、基礎データの収集を行った。

その 1 では実大 3 点曲げ試験について示す。

2. 実大 3 点曲げ試験
2.1 試験概要

表 1 に試験体一覧を示す。試験体は角形鋼管 $\square 300 \times 9$ (BCR295, 幅厚比 $D/t=33.3$ (種別 FC)) に対して、補剛の有無、補剛材板厚 t_r 、補剛長さ h_r をパラメータとした 4 仕様とする。補剛材は矩形とし、角形鋼管の各面に全周隅肉溶接する。補剛材板厚 t_r は補剛部の局部座屈変形を許容することを意図して SPCC-1.2mm, SS400-2.3mm の 2 種類とし、座屈半波長が $0.8D$ 程度となる既往研究の知見⁵⁾を参考に、補剛長さ $h_r=360\text{mm}$ ($=1.2D$) を基本とする。さらに、SS400-2.3mm のみ補剛長さ $h_r=240\text{mm}$ ($=0.8D$) を追加した。また、補剛材の幅 $b_r=150\text{mm}$ ($=D/2$) とし、補剛による過度の耐力上昇を防ぐことを意図して中央ダイアフラムから隙間 $s_r=60\text{mm}$ を設けるものとする。表 2 に使用鋼材の機械的性質を示す。

図 1 に試験セットアップを示す。中央の加力点と支持点はエンドプレート形式としている。試験体スパンは全試験体 $3,000\text{mm}$ とし、せん断スパンと鋼管径の比を 5 に統一した。試験体の載荷方向は 0 度とした。

載荷方法はすべての仕様で正負交番繰返し載荷を実施し、 2.3×240 を除く 3 仕様は単調載荷も別途実施する。繰返し載荷の載荷履歴は無補剛の角形鋼管の全塑性曲げ耐力の計算値 M_p に対応するスパン中央の変形の計算値 δ_p を基準とし、この値の 1 倍、2 倍、3 倍、4 倍の振幅を 1 サイクルずつ載荷する。試験体の部材角は中央ダイアフラム

表 1 試験体一覧

試験体	角形鋼管	補剛仕様					載荷方法
		材質	板厚 t_r	補剛長さ h_r	幅 b_r	隙間 s_r	
無補剛	BCR295 $\square 300 \times 9$ (FC)	-	-	-	-	-	単調、繰返し
補剛	1.2×360	SPCC	1.2	360	150	60	単調、繰返し
	2.3×240	SS400	2.3	240			繰返し
	2.3×360	SS400	2.3	360			単調、繰返し

表 2 使用鋼材の機械的性質

材質		実測板厚 [mm]	YS [N/mm ²]	TS [N/mm ²]	YR [%]	EL [%]
BCR295	平板部	9.00	356	434	82.0	34.6
□300×9	角部	-	476	540	-	18.0
SPCC		1.17	162	303	-	49.3
SS400		2.25	338	477	-	35.8

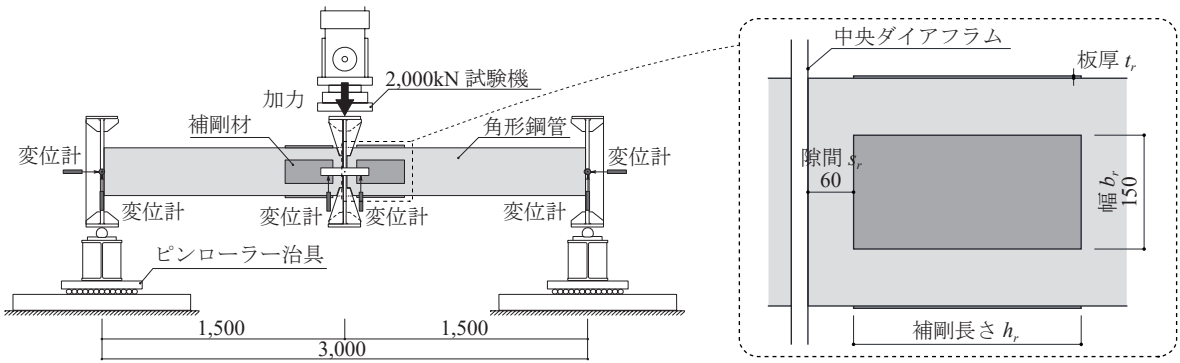


図 1 試験セットアップ

を挟んだ両側で異なることを想定し、支持点に対する荷重点の相対鉛直変位から中央ダイアフラムの回転による変位を差し引いて補正し、大きい方を評価に用いた。

2.2 試験結果

全試験体とも局部座屈で終局に至った。本試験では補剛ありの3仕様は補剛長さ h_r の長短で局部座屈性状に違いが見られた。試験で観測された局部座屈性状を写真1に示す。補剛長さ h_r が短い2.3×240では、支持点側の補剛領域外の無補剛部に座屈の頂点が現れる局部座屈が発生した(以下、非巻込型(写真1(a))と呼ぶ)。一方、補剛長さ h_r が長い1.2×360、2.3×360では補剛領域内に座屈波形が現れる局部座屈が発生し、角形鋼管の座屈変形を補剛材が拘束しながら変形が進行した(以下、巻込型(写真1(b))と呼ぶ)。

表3に試験結果一覧を示す。単調荷重および繰返し荷重の $M/\epsilon M_p - \theta/\epsilon \theta_p$ 関係をそれぞれ図2、3に示す。ここで、 ϵM_p は無補剛の全塑性曲げ耐力計算値、 ϵM_p を初期剛性で除して求めた回転角である。なお、表3中の単調荷重の塑性変形倍率 $\epsilon \eta$ および繰返し荷重の累積塑性変形倍率 $\epsilon \eta_s$ (骨格曲線部)、 $\epsilon \eta_A$ (全履歴)は最大耐力に到達後、荷重が最大耐力から10%低下するまでの履歴面積を無補剛の $\epsilon M_p \cdot \epsilon \theta_p$ で除して求めた。

最大耐力は無補剛の場合より若干向上した。よって、最大耐力を過度に上昇させることなく、塑性変形能力を向上させる目的では、角形鋼管に対して比較的薄い補剛材を、ダイアフラムの面から隙間を設けて配置することで調整が可能であると推測される。塑性変形能力に着目すると、 $\epsilon \eta_s$ は無補剛と同等かやや低下するものの、 $\epsilon \eta_A$ は向上している。これは、補剛によって最大耐力以降も荷重をある程度維持でき、バウシンガー部の寄与が大きくなったためである。また、前述の2種類の局部座屈のうち、巻込型とした方が耐力劣化がより緩やかである。補剛領域外の無補剛

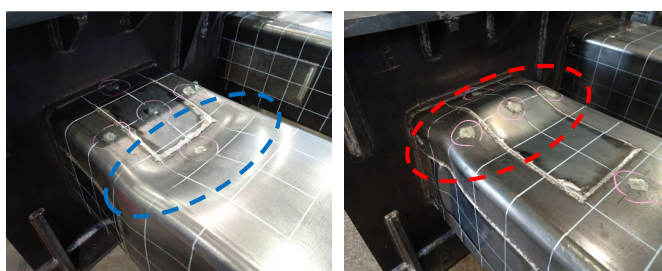
部に座屈の頂点が現れる非巻込型に対して、補剛領域内に座屈波形が現れる巻込型では、角形鋼管の局部座屈変形を補剛材が適度に拘束しながら変形が進むことで、補剛効果がより高くなったと推測される。

3. 結

幅厚比の大きな角形鋼管柱に当板補剛する方法を対象に3点曲げ試験を実施し、角形鋼管に対して比較的薄い補剛材でも最大耐力後の耐力劣化が緩やかになり、塑性変形能力が向上することを確認した。また、補剛仕様によって局部座屈性状が異なり、補剛効果に違いが見られた。

【参考文献】

- 1) 国土交通省国土技術政策総合研究所、建築研究所：2020年版 建築物の構造関係技術基準解説書，2020.4
- 2) 2011年改訂版 耐震改修促進法のための既存鉄骨建築物の耐震診断および耐震改修指針・同解説，日本建築防災協会
- 3) 松井千秋，森野捷輔，津田恵吾，椎葉喜一：角形鋼管柱部材の局部座屈補強法に関する実験的研究，日本建築学会大会学術講演梗概集，1983.9
- 4) 鈴木敏郎，酒井新吉，青木俊夫，鶴飼司郎，木村克次：箱形断面柱部材の弾塑性挙動に関する実験的研究，日本建築学会大会学術講演梗概集，1981.9
- 5) 山田哲，秋山宏，桑村仁：局部座屈を伴う箱形断面鋼部材の劣化域を含む終局挙動，日本建築学会構造系論文集，第444号，pp.135-143，1993.2



(a) 非巻込型 (2.3×240) (b) 巻込型 (1.2×360, 2.3×360)

写真1 局部座屈性状

表3 試験結果一覧

試験体		単調荷荷		繰返し荷荷						座屈性状
		$\epsilon M_{\max}/\epsilon M_p$	$\epsilon \eta$	$\epsilon M_{\max}^{+}/\epsilon M_p$	$\epsilon M_{\max}^{-}/\epsilon M_p$	$\epsilon \eta_s^{+}$	$\epsilon \eta_s^{-}$	$\epsilon \eta_A^{+}$	$\epsilon \eta_A^{-}$	
無補剛		1.13	5.91	1.10	1.08	2.39	2.41	4.63	3.02	-
補剛	1.2×360	1.19	6.08	1.13	1.14	2.22	3.07	5.00	7.06	巻込型
	2.3×240	-	-	1.16	1.15	2.51	2.98	4.99	5.48	非巻込型
	2.3×360	1.22	8.06	1.16	1.18	1.82	2.35	5.05	7.21	巻込型

ϵM_p ：無補剛全塑性曲げ耐力計算値， $\epsilon M_{\max}$ ：曲げ試験の最大曲げモーメント，±は正側または負側を示す

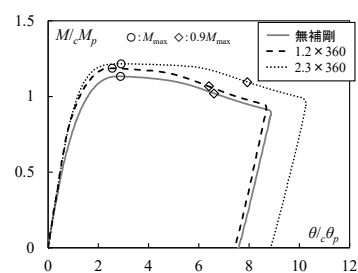


図2 単調荷重 $M/\epsilon M_p - \theta/\epsilon \theta_p$

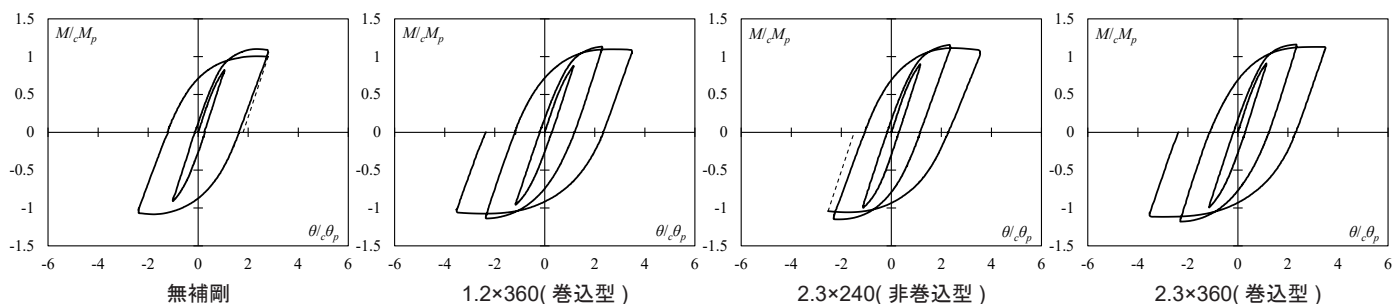


図3 繰返し荷重 $M/\epsilon M_p - \theta/\epsilon \theta_p$ (内は局部座屈性状)